



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2002372974 A**(43) Date of publication of application: **26.12.02**

(51) Int. Cl. **G10K 11/04**
H01L 41/08
H01L 41/18
H01L 41/22
H03H 3/02
H03H 9/17

(21) Application number: **2001182197**(22) Date of filing: **15.06.01**(71) Applicant: **UBE ELECTRONICS LTD**

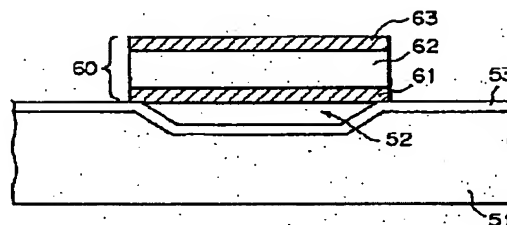
(72) Inventor: **YAMADA TETSUO**
HASHIMOTO TOMONORI
NAGAO KEIGO

(54) **THIN-FILM ACOUSTIC RESONATOR AND
 METHOD OF MANUFACTURING THE SAME**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a thin-film acoustic resonator of high performance which is excellent in electro-mechanical coupling coefficient, acoustic quality coefficient, etc.

SOLUTION: A recess 52 is formed on a substrate with a thin silicon oxide layer 53 formed on the surface of a silicon wafer 51 and a sandwiching structure 60 consisting of a piezoelectric substance layer 62 and a lower electrode 61 and upper electrode 63 joined to both surfaces thereof is arranged across the recess 52. The top surface of the lower electrode 61 and the under surface of the piezoelectric substance layer 62 joined thereto are ≤ 2.0 nm in the fluctuation in the RMS of the height. The thickness of the lower electrode 61 is ≤ 150 nm.



COPYRIGHT: (C)2003,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-372974

(P2002-372974A)

(43) 公開日 平成14年12月26日 (2002. 12. 26)

(51) Int.Cl.

識別記号

F I

キーワード(参考)

G 1 0 K 11/04

G 1 0 K 11/04

5 J 1 0 8

H 0 1 L 41/08

H 0 3 H 3/02

B

41/18

9/17

F

41/22

H 0 1 L 41/08

D

H 0 3 H 3/02

41/22

Z

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 11 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2001-182197(P2001-182197)

(71) 出願人 397047279

宇部エレクトロニクス株式会社

山口県美祿市大嶺町奥分字麦川2023番地2

(22) 出願日

平成13年6月15日(2001. 6. 15)

(72) 発明者 山田 哲夫

山口県宇部市大字小串1978番地の5 宇部
興産株式会社宇部研究所内

(72) 発明者 橋本 智仙

山口県宇部市大字小串1978番地の5 宇部
興産株式会社宇部研究所内

(74) 代理人 100065385

弁理士 山下 稔平

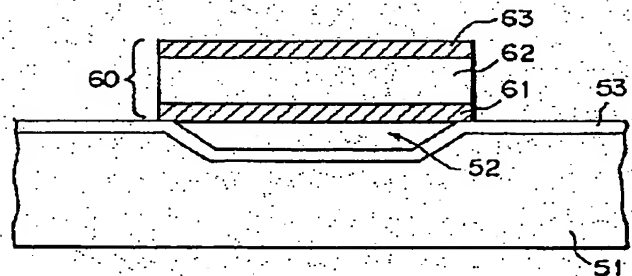
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 薄膜音響共振器及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 電気機械結合係数及び音響品質係数などに優れた高性能の薄膜音響共振器を提供する。

【解決手段】 シリコンウェーハ51の表面に酸化シリコン薄層53の形成された基板に、窪み52が形成されている。窪み52をまたぐように、圧電体層62とその両面に接合された下方電極61及び上方電極63とからなる挟み込み構造体60が配置されている。下方電極61の上面及びこれと接合されている圧電体層62の下面は、高さのRMS変動が2.0nm以下である。下方電極61の厚さは150nm以下である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 圧電体層と、該圧電体層の第1の表面に接合された第1の電極と、前記圧電体層の前記第1の表面と反対側の第2の表面に接合された第2の電極とを有しており、前記圧電体層の第1の表面は高さのRMS変動が2.0nm以下であることを特徴とする薄膜音響共振器。

【請求項2】 圧電体層と、該圧電体層の第1の表面に接合された第1の電極と、前記圧電体層の前記第1の表面と反対側の第2の表面に接合された第2の電極とを有しており、前記第1の電極の前記圧電体層の側の表面は高さのRMS変動が2.0nm以下であることを特徴とする薄膜音響共振器。

【請求項3】 前記圧電体層の前記第2の表面は高さのRMS変動が前記圧電体層の厚さの0.50%以下であることを特徴とする、請求項1～2のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項4】 前記第2の電極は中央部と該中央部より厚い外周部とを有することを特徴とする、請求項1～3のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項5】 前記第2の電極の中央部の表面のうねり高さは前記圧電体層の厚さの5.0%以下であることを特徴とする、請求項4に記載の薄膜音響共振器。

【請求項6】 前記外周部は前記中央部の周囲に枠状に位置することを特徴とする、請求項4～5のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項7】 前記第2の電極は前記中央部の厚さ変動が該中央部の厚さの2%以下であることを特徴とする、請求項4～6のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項8】 前記外周部の厚さは前記中央部の高さの1.1倍以上であることを特徴とする、請求項4～7のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項9】 前記外周部は前記第2の電極の外縁から40μmまでの距離の範囲内に位置することを特徴とする、請求項4～8のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項10】 前記圧電体層と前記第1の電極と前記第2の電極とからなる挟み込み構造体は、基板の表面に形成された窪みをまたぐように前記基板により縁部が支持されていることを特徴とする、請求項1～9のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項11】 前記基板の表面上には、前記窪みをまたぐように形成された絶縁体層が配置されており、該絶縁体層上に前記挟み込み構造体が形成されていることを特徴とする、請求項10に記載の薄膜音響共振器。

【請求項12】 圧電体層と、該圧電体層の第1の表面に接合された第1の電極と、前記圧電体層の前記第1の表面と反対側の第2の表面に接合された第2の電極とを有する薄膜音響共振器を製造する方法であって、基板の表面に窪みを形成し、該窪み内に犠牲層を充填し、該犠牲層の表面を高さのRMS変動が1.0nm以下

下となるように研磨し、前記犠牲層の表面の一部の領域と前記基板の表面の一部の領域とにわたってそれらの上に前記第1の電極を形成し、該第1の電極上に前記圧電体層を形成し、該圧電体層上に前記第2の電極を形成し、前記窪み内から前記犠牲層をエッチング除去することを特徴とする、薄膜音響共振器の製造方法。

【請求項13】 前記第1の電極を厚さ150nm以下に形成し、該第1の電極の上面を高さのRMS変動が2.0nm以下となるようにすることを特徴とする、請求項12に記載の薄膜音響共振器の製造方法。

【請求項14】 前記犠牲層の上に前記第1の電極を形成するに先立って絶縁体層を形成することを特徴とする、請求項12～13のいずれかに記載の薄膜音響共振器の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、圧電体薄膜の電気音響効果を利用した薄膜音響共振器に関するものである。薄膜音響共振器は、通信機用フィルタの構成要素として利用することができる。

【0002】

【従来の技術】電子機器のコストおよび寸法を減らす必要性から、その回路構成要素としてのフィルタの寸法を小さくする努力が絶えず続いている。セル式電話およびミニチュア・ラジオのような民生用電子機器には、それに内蔵されている構成要素の大きさおよびコストの双方に厳しい制限が加えられている。このような多数の電子機器は、精密な周波数に同調させなければならないフィルタを利用している。したがって、廉価でコンパクトなフィルタを提供する努力が続けられている。

【0003】これらの低価格及び小型化の要求を満たす可能性のあるフィルタとして、音響共振器を用いて構成されているものが挙げられる。音響共振器は、薄膜圧電体(PZ)材料内のバルク弾性音響波を利用している。音響共振器の一つの簡単な構成では、薄膜PZ材料の層が二つの金属電極の間に挟み込まれた挟み込み構造を形成している。この挟み込み構造は、周囲を支持することにより中央部が空中に吊された橋架け構造により支持される。二つの電極の間に印加される電圧により電界が発生すると、PZ材料は、電気エネルギーの幾らかを音波の形の機械エネルギーに変換する。音波は、電界と同じ方向に伝播し、電極/空気境界面で反射する。

【0004】機械的に共振している時、音響共振器は電気共振器として機能し、したがって、これを用いてフィルタを構成することができる。音響共振器の機械的共振は、音波が伝播する材料の厚さが音波の半波長と等しくなる周波数で発生する。音波の周波数は、電極に印加される電気信号の周波数に等しい。音波の速度は光の速度より5～6桁小さいから、得られる共振器を極めてコンパクトにすることができる。GHz帯の用途のための共

振器を、直径200ミクロン未満で厚さ数ミクロン未満の寸法で構成することができる。

【0005】以上のような薄膜バルク音響共振器 (Thin Film Bulk Acoustic Resonators: 以下FBARという)、及び上記挟み込み構造を積層した形態の積層薄膜バルク音響共振器およびフィルタ (Stacked Thin Film Bulk Acoustic Resonators and Filters: 以下SBARという) において、挟み込み構造の中心部はスパッタ法により作製された厚さ約1~2ミクロン程度の圧電体薄膜である。上方および下方の電極は、電気リードとして働き圧電体薄膜を挟み込んで圧電体薄膜を貫く電界を与える。圧電体薄膜は、電界エネルギーの一部を力学エネルギーに変換する。時間変化する印加電界エネルギーにตอบสนองして、時間変化する「応力/歪み」エネルギーが形成される。

【0006】FBARまたはSBARを音響共振器として動作させるには、圧電体薄膜を含む挟み込み構造を橋架け構造により支持して、音波を挟み込み構造内に閉じ込めるための空気/結晶境界面を形成しなければならない。挟み込み構造は、通常、基板表面上に下方電極、PZ層、および次に上方電極を堆積させることにより作られる。したがって、挟み込み構造の上側には、空気/結晶境界面が既に存在している。挟み込み構造の下側にも空気/結晶境界面を設けなければならない。この挟み込み構造の下側の空気/結晶境界面を得るのに、従来、以下に示すような幾つかの方法が用いられている。

【0007】第1の方法は、例えば特開昭58-153412号公報に記載のように、基板を形成しているウェーハのエッチング除去を利用している。基板がシリコンからなるものであれば、加熱KOH水溶液を使用してシリコン基板の一部を裏側からエッチングして取り去って孔を形成する。これにより、挟み込み構造の縁をシリコン基板の孔の周囲の部分で支持した形態を有する共振器が得られる。しかし、このようなウェーハを貫いて開けられた孔は、ウェーハを非常に繊細にし、且つ、非常に破壊しやすくする。更に、基板表面に対して54.7度のエッチング傾斜でKOHを用いた湿式エッチングを行うと、最終製品の取得量、即ちウェーハ上のFBAR/SBARの歩留まりの向上が困難である。たとえば、250 μ m厚さのシリコンウェーハ上に形成される約150 μ m \times 150 μ mの横寸法を有する挟み込み構造は、約450 μ m \times 450 μ mの寸法の裏側エッチング開口を必要とする。したがって、ウェーハの約1/9を生産に利用できるだけである。

【0008】挟み込み構造の下に空気/結晶境界面を設ける従来の第2の方法は、例えば特開平2-13109号公報に記載のように、空気ブリッジ式FBAR素子を作ることである。通常、最初に犠牲層 (Sacrificial layer) を設置し、次に犠牲層の上に挟

み込み構造を作製する。プロセスの終わりまたは終わりに近くに、犠牲層を除去する。処理はすべてウェーハの前面側で行われるから、この方法は、ウェーハ両面側の位置合わせも大きい面積の裏側開口も必要としない。

【0009】特開2000-69594号公報には、犠牲層として磷酸石英ガラス (PSG) を使用した空気ブリッジ式FBAR/SBAR素子の構成と製造方法が記載されている。同公報においては、PSG層がシリコンウェーハ上に堆積されている。PSGは、シランおよびホスフィン (PH₃) を使用して約450 $^{\circ}$ Cまでの温度で堆積され、燐含有量約8%である軟ガラス様物質を形成する。PSGは、比較的低温で堆積させることができ、且つ、希釈H₂O:H₂F溶液で非常に高いエッチング速度でエッチングされる。

【0010】しかしながら、同公報においては、PSG犠牲層の高さのRMS (2乗平均平方根) 変動が0.5 μ m未満と記載されているものの、具体的には0.1 μ mより小さいオーダーのRMS変動の具体的記載はない。この0.1 μ mオーダーのRMS変動は、原子的にみると非常に粗い凹凸である。FBAR/SBAR形式の音響共振器は、結晶が電極平面に垂直な柱状晶をなし成長する圧電体材料を必要とする。特開2000-69594号公報では、PSG層の表面に平行な導電シートの高さのRMS変動は2 μ m未満と記載されているものの、具体的には0.1 μ mより小さいオーダーのRMS変動の具体的記載はない。この0.1 μ mオーダーのRMS変動は、音響共振器用の圧電体薄膜を形成する表面としては不十分な表面粗さである。圧電体膜を成長させる試みが行われたが、粗面上の多数の凹凸の影響で多様な方向に結晶が成長するので、得られた圧電体薄膜の結晶品質は必ずしも十分なものでなく、圧電効果を殆どまたは全く示さない不十分なものであった。

【0011】以上のような空気/結晶境界面を設ける代わりに、適切な音響ミラーを設ける方法もある。この方法は、例えば特開平6-295181号公報に記載のように、挟み込み構造の下に音響的ブラッグ反射鏡からなる大きな音響インピーダンスが作り出される。ブラッグ反射鏡は、高低の音響インピーダンス材料の層を交互に積層することにより作られる。各層の厚さは共振周波数の波長の1/4に固定される。十分な層数により、圧電体/電極境界面における有効インピーダンスを、素子の音響インピーダンスよりはるかに高くすることができ、したがって、圧電体内の音波を有効に閉じ込めることができる。この方法により得られる音響共振器は、挟み込み構造の下に空隙が存在しないので、固体音響ミラー受け共振器 (SMR) と呼ばれる。

【0012】この方法は、周辺部が固定され中心部が自由に振動できる膜を作るという前述の第1の方法及び第2の方法の問題を回避しているが、この方法にも多くの問題点がある。即ち、金属層はフィルタの電気性能を劣

化させる寄生コンデンサを形成するのでブラッグ反射鏡の層に使用できないから、ブラッグ反射鏡に使用する材料の選択には、制限がある。利用可能な材料から作られる層の音響インピーダンスの差は大きくない。したがって、音波を閉じ込めるには、非常に多くの数の層が必要である。この方法は、各層にかかる応力を精密に制御しなければならないので、製作プロセスが複雑である。また、10ないし14といった多数の層をを貫くバイアを作るのは困難であるから、この方法により得られる音響共振器は他の能動素子との集積化には不都合である。更に、これまでに報告された例では、この方法により得られる音響共振器は、空気ブリッジを有する音響共振器より有効結合係数がかなり低い。その結果、SMRを用いたフィルタは、空気ブリッジ式の音響共振器を用いたものに比較して有効帯域幅が狭い。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、改良された性能を有するFBAR/SBAR素子を提供することである。

【0014】本発明の他の目的は、薄膜圧電体(PZ)の結晶品質を向上させることにより、電気機械結合係数、音響品質係数(Q値)、温度特性などに優れた高性能のFBAR/SBAR素子を提供することである。

【0015】本発明の更に別の目的は、上方電極の形状を工夫することにより、電気機械結合係数、音響品質係数(Q値)、温度特性などに優れた高性能のFBAR/SBAR素子を提供することである。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、以上の如き目的を達成するものとして、圧電体層と、該圧電体層の第1の表面に接合された第1の電極と、前記圧電体層の前記第1の表面と反対側の第2の表面に接合された第2の電極とを有しており、前記圧電体層の第1の表面は高さのRMS変動が2.0nm以下であることを特徴とする薄膜音響共振器、が提供される。

【0017】本発明において、高さのRMS変動は、日本工業規格JIS B0601:2001「製品の幾何特性仕様(GPS)―表面性状：輪郭曲線方式―用語、定義及び表面性状パラメータ」に記載の二乗平均平方根粗さ:Rqである(以下に記載の発明についても同様)。

【0018】また、本発明によれば、以上の如き目的を達成するものとして、圧電体層と、該圧電体層の第1の表面に接合された第1の電極と、前記圧電体層の前記第1の表面と反対側の第2の表面に接合された第2の電極とを有しており、前記第1の電極の前記圧電体層の側の表面は高さのRMS変動が2.0nm以下であることを特徴とする薄膜音響共振器、が提供される。

【0019】本発明の一態様においては、前記圧電体層の前記第2の表面は高さのRMS変動が前記圧電体層の

厚さの0.50%以下である。

【0020】本発明の一態様においては、前記第2の電極は中央部と該中央部より厚い外周部とを有する。本発明の一態様においては、前記第2の電極の中央部の表面のうねり高さは前記圧電体層の厚さの5.0%以下である。尚、本発明において、うねり高さは、測定長100 μ mにおけるうねり高さに換算した値である。

【0021】本発明の一態様においては、前記第2の電極の外周部は前記第2の電極の中央部の周囲に枠状に位置する。本発明の一態様においては、前記第2の電極は前記中央部の厚さ変動が該中央部の厚さの2%以下である。本発明の一態様においては、前記第2の電極の外周部の厚さは前記第2の電極の中央部の高さの1.1倍以上である。本発明の一態様においては、前記第2の電極の外周部は前記第2の電極の外縁から40 μ mまでの距離の範囲内に位置する。

【0022】本発明の一態様においては、前記圧電体層と前記第1の電極と前記第2の電極とからなる挟み込み構造体は、基板の表面に形成された窪みをまたぐように前記基板により縁部が支持されている。本発明の一態様においては、前記基板の表面上には、前記窪みをまたぐように形成された絶縁体層が配置されており、該絶縁体層上に前記挟み込み構造体が形成されている。

【0023】更に、本発明によれば、以上の如き目的を達成するものとして、圧電体層と、該圧電体層の第1の表面に接合された第1の電極と、前記圧電体層の前記第1の表面と反対側の第2の表面に接合された第2の電極とを有する薄膜音響共振器を製造する方法であって、基板の表面に窪みを形成し、該窪み内に犠牲層を充填し、該犠牲層の表面を高さのRMS変動が1.0nm以下となるように研磨し、前記犠牲層の表面の一部の領域と前記基板の表面の一部の領域とにわたってそれらの上に前記第1の電極を形成し、該第1の電極上に前記圧電体層を形成し、該圧電体層上に前記第2の電極を形成し、前記窪み内から前記犠牲層をエッチング除去することを中心とする、薄膜音響共振器の製造方法、が提供される。

【0024】本発明の一態様においては、前記第1の電極を厚さ150nm以下に形成し、該第1の電極の上面を高さのRMS変動が2.0nm以下となるようにする。本発明の一態様においては、前記犠牲層の上に前記第1の電極を形成するに先立って絶縁体層を形成する。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を、図面を参照しながら説明する。

【0026】図1および図2は、それぞれ、本発明による薄膜音響共振器であるFBARおよびSBARの基本構成を説明するための模式的断面図である。

【0027】図1において、FBAR20は、上方電極21および下方電極23を備え、これらは圧電体(PZ)材料の層22の一部を挟み込んで挟み込み構造を形

成している。好適なPZ材料は窒化アルミニウム（AlN）または酸化亜鉛（ZnO）である。FBAR20に使用される電極21、23は、好適にはモリブデンから作られるが、他の材料を使用することも可能である。下方電極23が第1の電極であり、上方電極21が第2の電極である。

【0028】この素子は、薄膜PZ材料内のバルク弾性音響波の作用を利用している。印加電圧により二つの電極21、23の間に電界が生ずると、PZ材料は電気エネルギーの一部を音波の形の機械的エネルギーに変換する。音波は電界と同じ方向に伝播し、電極／空気境界面で反射される。

【0029】機械的に共振している時、素子は電気共振器として機能し、したがって、素子は、ノッチフィルタとして動作することができる。素子の機械的共振は、音波が伝播する材料の厚さが当該音波の半波長と等しくなる周波数で発生する。音波の周波数は電極21、23間に印加される電気信号の周波数である。音波の速度は光の速度より5～6桁小さいから、得られる共振器を極めてコンパクトにすることができる。GHz帯の用途に対する共振器を、平面寸法が約100 μ mおよび厚さが数 μ mのオーダーで構成することができる。

【0030】次に、図2を参照してSBARについて説明する。SBAR40は、帯域フィルタと類似の電氣的機能を与える。SBAR40は、基本的には機械的に結合されている二つのFBARフィルタである。圧電体層41の共振周波数で電極43および44を横断する信号は、音響エネルギーを圧電体層42に伝える。圧電体層42内の機械的振動は、電極44および45を横断する電気信号に変換される。

【0031】図3～図8は、本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFBARの実施形態を説明するための模式的断面図（図3～図6、図8）及び模式的平面図（図7）である。

【0032】まず、図3に示されているように、集積回路製作に利用されている通常のシリコンウェーハ51に、エッチングにより窪みを形成する。窪みの深さは好適には3～30 μ mである。FBARの挟み込み構造の下の空洞の深さは圧電体層により生ずる変位を許容すればよい。したがって、空洞の深さは数 μ mあれば十分である。

【0033】ウェーハ51の表面に熱酸化により酸化シリコンの薄層53を形成し、これにより、その上に以後の工程で形成される犠牲層のPSGからウェーハ51内に燐が拡散しないようにする。このようにウェーハ内への燐の拡散を抑制することにより、シリコンウェーハが導体に変換されることが阻止され、作製された素子の電氣的動作に対する悪影響をなくすることができる。以上のようにしてウェーハ51の表面に酸化シリコン薄層53を形成したものを、基板として用いる。即ち、図3は、

基板の表面に深さが好適には3～30 μ mの窪み52を形成した状態を示す。

【0034】次に、図4に示されているように、基板の酸化シリコンの薄層53上に燐酸石英ガラス（PSG）層55を堆積させる。PSGは、シランおよびホスフィン（PH₃）を使用して約450℃までの温度で堆積され、燐含有量約8%の軟ガラス様物質を形成する。この低温プロセスは、当業者に周知である。PSGは、比較的低温で堆積させることができ、且つ、希釈H₂O：HF溶液で非常に高いエッチング速度でエッチングされる非常にクリーンな不活性材料であるから、犠牲層の材料として好適である。以後の工程で実行されるエッチングにおいて10：1の希釈割合で毎分約3 μ mのエッチング速度が得られる。

【0035】堆積したままのPSG犠牲層55の表面は、原子レベルでみると非常に粗い。したがって、堆積したままのPSG犠牲層55は、音響共振器を形成する基体としては不十分である。FBAR／SBAR形式の音響共振器は、結晶が電極面に垂直な柱状晶をなして成長する圧電材料を必要とする。微細な研磨粒子を含む研磨スラリーを用いてPSG犠牲層55の表面を磨いて滑らかにすることにより、優れた結晶の圧電材料の薄膜を形成する。

【0036】即ち、図5に示されているように、PSG層55の表面を粗仕上げスラリーで磨くことにより全体的に平面化して、窪み52の外側のPSG層の部分を除く。次に、残っているPSG層55を更に微細な研磨粒子を含むスラリーで磨く。代替方法として、磨き時間が長くかかってもよければ一つの更に微細なスラリーを用いて上記二つの磨きステップを実行してもよい。目標は、鏡面仕上げである。

【0037】以上のようにして窪み52に対応する位置にPSG層55を残留させた基板のクリーニングも重要である。スラリーは基板上に少量のシリカ粗粉を残す。この粗粉を除去せねばならない。本発明の好適な実施形態では、この粗粉除去をポリテックス（Polytex（商標）：ロデル・ニッタ社）のような堅いパッドの付いた第2の研磨具を使用して行う。その際の潤滑剤として、脱イオン水を使用し、磨いてから最終クリーニングステップの準備が完了するまでウェーハを脱イオン水中に入れておく。基板を、最後の磨きステップと最後のクリーニングステップとの間で乾燥させないように注意する。最後のクリーニングステップは、基板を色々な化学薬品の入っている一連のタンクに漬けることから成る。各タンクに超音波攪拌を加える。このようなクリーニング手段は当業者に周知である。

【0038】研磨剤は、シリカ微粒子から構成されている。本発明の好適な実施形態では、シリカ微粒子のアンモニア主体スラリー（Rodel Klebosol #30N：ロデル・ニッタ社）を利用する。

【0039】以上の説明では特定の研磨およびクリーニングの様式を示したが、必要な滑らかさの表面を与えるどんな研磨およびクリーニングの様式をも利用することができる。本発明の好適な実施形態では、最終表面は、原子間力顕微鏡プローブで測った高さのRMS変動が1.0nm以下である。

【0040】以上のようにして表面をきれいにしてから、図6に示されているように、挟み込み構造体60の下方電極61を堆積させる。下方電極61の好適な材料は、モリブデン(Mo)である。しかし、下方電極61を他の材料たとえばAl、W、Au、PtまたはTiから構成することもできる。その低い熱弾性損失のためモリブデン(Mo)が好適である。たとえば、Moの熱弾性損失は、Alの約1/56である。

【0041】下方電極61の厚さも重要である。厚い層は、薄い層より表面が粗くなる。圧電体層62の堆積のための滑らかな表面を維持することは、得られる共振器の性能にとって非常に重要である。したがって、下方電極61の厚さは、好適には150nm以下である。Moは好適にはスパッタリングにより堆積される。これにより、表面の高さのRMS変動が2.0nm以下のMo層が得られる。

【0042】下方電極61を堆積し終わってから、圧電体層62を堆積する。圧電体層62の好適な材料は、AlNまたはZnOであり、これもスパッタリングにより堆積される。本発明の好適な実施形態では、圧電体層62の厚さは、0.1μmから10μmの間(好ましくは0.5μm~2μm)にある。圧電体層62の上面は、高さのRMS変動が圧電体層厚さ(平均値)の0.50%以下であるのが好ましく、また、うねり高さが圧電体層62の厚さの5.0%以下であるのが好ましい。

【0043】最後に、上方電極63を堆積させる。上方電極63は、下方電極61と同様な材料から構成され、好適にはMoから構成される。

【0044】以上のようにして、下方電極61、圧電体層62及び上方電極63からなり、所要の形状にパターンニングされた挟み込み構造体60を形成してから、図7に示されているように、挟み込み構造体60の端部または挟み込み構造体60により覆われずに露出している犠牲層55の部分から、希釈H₂O:H₂F溶液でエッチングすることにより、挟み込み構造体60の下方のPSGをも除去する。これにより、図8に示されているように、窪み52の上に橋架けされた挟み込み構造体60が残る。即ち、挟み込み構造体60は、基板の表面に形成された窪み52をまたぐように基板により縁部が支持されている。

【0045】以上のようにして得られたFBARにおいては、犠牲層55の表面(高さのRMS変動が1.0nm以下)に従って、その上に形成された下方電極61の下面の高さのRMS変動が2.0nm以下であり、更に

該下方電極61は厚さが薄いので上面も高さのRMS変動が2.0nm以下である。そして、この下方電極61の上面に従って、その上に形成された圧電体層62の下面の高さのRMS変動が2.0nm以下である。下方電極61の滑らかな上面は、圧電体層62の成長核となる結晶構造を備えていないにもかかわらず、形成される圧電体層62に非常に規則正しい構造のc軸配向を形成し優れた圧電特性を与える。

【0046】図9~図10は、本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFBARの更に別の実施形態を説明するための模式的断面図である。この実施形態では、上記図3~5に関し説明したような工程の後に、図9に示されているように、絶縁体層54を形成する。絶縁体層54は、たとえばSiO₂膜であり、CVD法により堆積することができる。この絶縁体層54の厚さは、例えば50~1000nmであり、その上面は高さのRMS変動が2.0nm以下である。その上に、上記図6に関し説明したような工程を行って挟み込み構造体60を形成する。次いで、図10に示されているように、上記図7及び図8に関し説明したような工程を行って、FBARを得る。その際に、犠牲層55をエッチング除去するために、挟み込み構造体60の端部または挟み込み構造体60により覆われていない絶縁体層54の部分であって犠牲層55の上方の部分に適宜の大きさの開口を形成し、該開口からエッチング液を供給する。

【0047】本実施形態のFBARは、挟み込み構造体60と空洞52との間に絶縁体層54が配置されており、挟み込み構造体60に加えて絶縁体層54をも含んで振動部が構成されるので、該振動部の強度が向上する。

【0048】以上の実施形態は、FBARに関するものである。しかし、当業者には、以上の説明から、同様なプロセスを用いてSBARを作製することが可能であることが明らかであろう。SBARの場合には、もう一つの圧電体層(第2の圧電体層)およびその上の電極(第2の上方電極)を堆積しなければならない。第2の圧電体層は上記実施形態で示されているような「FBAR」の上方電極の上に形成されているから、この上方電極の厚さをも150nm以下に維持して第2の圧電体層を堆積するための適切な表面(第1の圧電体層の下方電極の表面と同様)を与えるのが好ましい。

【0049】図11は、本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFBARの更に別の実施形態を説明するための模式的断面図であり、図12はその上方電極の平面図である。この実施形態では、上方電極63の形状のみ、上記図3~8に関し説明した実施形態と異なる。

【0050】本実施形態では、上方電極63が中央部631と該中央部の周囲に枠状に位置し且つ中央部631

より肉厚の外周部 632 とを有する。中央部 631 と外周部 632 との境界は段差により形成されている。

【0051】外周部 632 の厚さは、中央部 631 の厚さの 1.1 倍以上であるのが好ましい。また、中央部 631 の厚さ変動は、該中央部の厚さ（平均値）の 2% 以下であるのが好ましい。上方電極 63 の寸法 a は、例えば $100\mu\text{m}$ である。外周部 632 は上方電極 63 の外縁から距離 b までの範囲内に位置しており、距離 b は例えば $40\mu\text{m}$ までの値である。

【0052】このような上方電極構造とすることで、上方電極外周部での横方向の振動発生を抑制し、音響共振器の振動に余分なスプリング振動が重なることを防止することができる。その結果、音響共振器およびフィルタの共振特性や品質係数が改善される。

【0053】本実施形態では、一層高い音響的品質係数（ Q 値）を得るために、上方電極 63 の中央部 631 の表面のうねり高さは、圧電体層 62 の厚さの 5.0% 以下となるようにするのが好ましい。

【0054】本発明の上述の実施形態では、PSG から構成された犠牲層を利用しているが、犠牲層には他の材料をも使用することができる。たとえば、BPSG（Boron-Phosphor-Silicate-Glass：ボロン-燐-シリコン-ガラス）または、スピニング・ガラスのような他の形態のガラスを利用することもできる。これ以外にも、スピニングにより材料上に堆積できるポリビニール、ポリプロピレン、およびポリスチレンのようなプラスチックがある。堆積したこれらの材料の表面は原子的には滑らかでないため、これらの材料から犠牲層を構成する場合にも、PSG 犠牲層の場合のように、研磨による表面平滑化が重要である。これらの犠牲層は、有機除去材あるいは O_2 プラズマエッチングによって取り去ることもできる。

【0055】

【実施例】以下、実施例により本発明を更に詳細に説明する。

【0056】【実施例 1】図 3～図 8 に記載されているようにして、薄膜音響共振器を形成した。

【0057】まず、 Si ウェーハ 51 の表面を Pt/T i 保護膜により被覆し、エッチングにより該保護膜を窪み形成のための所定のパターン状に形成して、 Si ウェーハ 51 のエッチングのためのマスクを形成した。その後、 Pt/T i パターンマスクを用いて湿式エッチングを行い、図 3 に示されているように、深さ $20\mu\text{m}$ で幅 $150\mu\text{m}$ の窪みを形成した。このエッチングは、5 重量%の KOH 水溶液を用い、液温 70°C で実施した。

【0058】その後、 Pt/T i パターンマスクを除去し、図 3 に示されているように、熱酸化により Si ウェーハ 51 の表面に厚さ $1\mu\text{m}$ の SiO_2 層 53 を形成し、 Si ウェーハ 51 及び SiO_2 層 53 からなる基板の上に窪み 52 の形成されている構造を得た。

【0059】次いで、図 4 に示されているように、窪み 52 の形成されている SiO_2 層 53 上に、厚さ $30\mu\text{m}$ の PSG 犠牲層 55 を堆積させた。この堆積は、 450°C で、シラン及びホスフィン（ PH_3 ）を原料として用いた熱 CVD 法により行った。

【0060】次いで、図 5 に示されているようにして、PSG 犠牲層 55 の表面を研磨し、窪み 52 以外の領域の PSG 犠牲層 55 を除去した。続いて、窪み 52 内に残留する PSG 犠牲層 55 の表面を微細な研磨粒子を含むスラリーを用いて入念に研磨し、その表面粗さを高さの RMS 変動が 1.0nm となるようにした。

【0061】次いで、図 6 に示されているように、PSG 犠牲層 55 上に厚さ 100nm で寸法 $200 \times 200\mu\text{m}$ の Mo 膜からなる下部電極 61 を形成した。 Mo 膜の形成は、DC マグネトロンスパッタ法により行った。そして、リフトオフ法により Mo 膜のパターニングを行った。形成された Mo 膜の表面粗さを測定したところ、高さの RMS 変動は 1.5nm であった。

【0062】次いで、下部電極 61 上に ZnO 膜からなる $1.0\mu\text{m}$ 厚の圧電体層 62 を形成した。 ZnO 膜の形成は、スパッタリングターゲットとして ZnO を用い、スパッタガスとして Ar と O_2 との混合ガスを用い、スパッタガス圧を 5mTorr とし、基板温度 400°C で RF マグネトロンスパッタ法により行った。形成された ZnO 膜の表面粗さを測定したところ、高さの RMS 変動は膜厚の 0.5% 以下の 4.0nm であった。湿式エッチングにより ZnO 膜を所定形状にパターニングして圧電体層 62 を得た。

【0063】次いで、圧電体層 62 上に、厚さ 100nm の Mo 膜からなる上部電極 63 を形成した。 Mo 膜の形成及びパターニングは、下部電極 61 の形成の際と同様にした。上部電極 63 の表面について、測定長さ $150\mu\text{m}$ でうねり高さを測定し、測定長さ $100\mu\text{m}$ でのうねり高さの最大値を調べたところ、圧電体層 62 の膜厚の 5.0% 以下の 30nm であった。

【0064】次いで、希釈 $\text{H}_2\text{O}:\text{HF}$ 溶液でエッチングすることにより PSG 犠牲層 55 を除去した。これにより、図 8 に示されているように、窪み 52 の上に $\text{Mo}/\text{ZnO}/\text{Mo}$ の挟み込み構造体 60 が橋架けされた形態を形成した。

【0065】得られた圧電体層 62 の薄膜 XRD 分析を行ったところ、膜の c 軸は膜面に対して 88.8° の方向であり、ロッギングカーブにより配向度を調べた結果、ピークの半値幅は 2.4° であり、良好な配向性を示していた。

【0066】以上のようにして得られた音響共振器について、マイクロ波プローブを使用して上部電極 63 と下部電極 61 との間のインピーダンス特性を測定するとともに、共振周波数 f_r 及び反共振周波数 f_a を測定し、これらの測定値に基づき電気機械結合係数 k_t^2 を算出

した。電気機械結合係数 k_t^2 は 5.5% で、音響的品質係数は 700 であった。

【0067】[比較例 1] PSG 犠牲層 55 の表面粗さを高さの RMS 変動が 30 nm となるように研磨を行ったこと以外は、実施例 1 と同様にして音響共振器を作製した。

【0068】下部電極 61 の Mo 膜の表面粗さを測定したところ、高さの RMS 変動は 34 nm であった。また、ZnO 膜の表面粗さを測定したところ、高さの RMS 変動は膜厚の 0.5% を越える 37 nm であった。上部電極 63 の表面について、測定長さ 150 μm でうねり高さを測定し、測定長さ 100 μm でうねり高さの最大値を調べたところ、圧電体層 62 の膜厚の 5.0% を越える 110 nm であった。

【0069】得られた圧電体層 62 の薄膜 XRD 分析を行ったところ、膜の c 軸は膜面に対して 87.0 度の角度に成長しており、ロッギングカーブにより配向度を調べた結果、ピークの半値幅は 6.8 度であった。

【0070】以上のようにして得られた音響共振器の電気機械結合係数 k_t^2 は 3.4% で、音響的品質係数は 430 であった。

【0071】[実施例 2] 圧電体層 62 として ZnO 膜に代えて AlN 膜からなるものを用いたこと以外は、実施例 1 と同様にして音響共振器を作製した。即ち、下部電極 61 上に AlN 膜からなる 1.2 μm 厚の圧電体層 62 を形成した。AlN 膜の形成は、スパッタリングターゲットとして Al を用い、スパッタガスとして Ar と N_2 との混合ガスを用い、基板温度 400°C で RF マグネトロンスパッタ法により行った。形成された AlN 膜の表面粗さを測定したところ、高さの RMS 変動は膜厚の 0.5% 以下の 2.4 nm であった。上部電極 63 の表面について、測定長さ 150 μm でうねり高さを測定し、測定長さ 100 μm でうねり高さの最大値を調べたところ、圧電体層 62 の膜厚の 5.0% 以下の 3.3 nm であった。

【0072】得られた圧電体層 62 の薄膜 XRD 分析を行ったところ、膜の c 軸は膜面に対して 88.6 度の方向であり、ロッギングカーブにより配向度を調べた結果、ピークの半値幅は 2.8 度であり、良好な配向性を示していた。

【0073】以上のようにして得られた音響共振器の電気機械結合係数 k_t^2 は 6.6% で、音響的品質係数は 910 であった。

【0074】[比較例 2] PSG 犠牲層 55 の表面粗さを高さの RMS 変動が 33 nm となるように研磨を行ったこと以外は、実施例 2 と同様にして音響共振器を作製した。

【0075】下部電極 61 の Mo 膜の表面粗さを測定したところ、高さの RMS 変動は 36 nm であった。また、AlN 膜の表面粗さを測定したところ、高さの RMS

S 変動は膜厚の 0.5% を越える 40 nm であった。上部電極 63 の表面について、測定長さ 150 μm でうねり高さを測定し、測定長さ 100 μm でうねり高さの最大値を調べたところ、圧電体層 62 の膜厚の 5.0% を越える 150 nm であった。

【0076】得られた圧電体層 62 の薄膜 XRD 分析を行ったところ、膜の c 軸は膜面に対して 86.5 度の角度に成長しており、ロッギングカーブにより配向度を調べた結果、ピークの半値幅は 7.0 度であった。

【0077】以上のようにして得られた音響共振器の電気機械結合係数 k_t^2 は 3.8% で、音響的品質係数は 470 であった。

【0078】[実施例 3] 図 3～図 5、図 9～図 10 に記載されているようにして、薄膜音響共振器を形成した。

【0079】先ず、実施例 1 と同様にして、図 5 に示される構造体を得た。但し、窪み 52 内に残留する PSG 犠牲層 55 の表面を微細な研磨粒子を含むスラリーを用いて研磨し、その表面粗さを高さの RMS 変動が 0.6 nm となるようにした。

【0080】次いで、図 9 に示されているように、PSG 犠牲層 55 の表面をも覆うように基板上に CVD 法により厚さ 500 nm の SiO_2 膜からなる絶縁体層 54 を形成した。形成された絶縁体層 54 の表面粗さを測定したところ、高さの RMS 変動は 1.5 nm であった。

【0081】次いで、絶縁体層 54 上に、実施例 1 と同様にして、図 10 に示されているように、Mo 膜からなる下部電極 61 を形成した。形成された Mo 膜の表面粗さを測定したところ、高さの RMS 変動は 1.8 nm であった。

【0082】次いで、実施例 1 と同様にして、下部電極 61 上に ZnO 膜からなる圧電体層 62 を形成した。形成された ZnO 膜の表面粗さを測定したところ、高さの RMS 変動は膜厚の 0.5% 以下の 4.5 nm であった。

【0083】次いで、実施例 1 と同様にして、圧電体層 62 上に Mo 膜からなる上部電極 63 を形成した。上部電極 63 の表面について、測定長さ 150 μm でうねり高さを測定し、測定長さ 100 μm でうねり高さの最大値を調べたところ、圧電体層 62 の膜厚の 5.0% 以下の 27 nm であった。

【0084】次いで、絶縁体層 54 の露出している部分に PSG 犠牲層 55 に達するバイアホールを開口し、該開口を介して希釈 $\text{H}_2\text{O}:\text{HF}$ 溶液でエッチングすることにより PSG 犠牲層 55 を除去した。これにより、図 10 に示されているように、窪み 52 の上に絶縁体層 54 と Mo/ZnO/Mo の挟み込み構造体 60 との積層体が橋架けされた形態を形成した。

【0085】得られた圧電体層 62 の薄膜 XRD 分析を行ったところ、膜の c 軸は膜面に対して 88.8 度の方

向であり、ロッキングカーブにより配向度を調べた結果、ピークの半値幅は2.3度であり、良好な配向性を示していた。

【0086】以上のようにして得られた音響共振器について、マイクロ波プローバを使用して上部電極63と下部電極61との間のインピーダンス特性を測定するとともに、共振周波数 f_r 及び反共振周波数 f_a を測定し、これらの測定値に基づき電気機械結合係数 kt^2 を算出した。電気機械結合係数 kt^2 は5.4%で、音響的品質係数は680であった。

【0087】【比較例3】PSG犠牲層55の表面粗さを高さのRMS変動が32nmとなるように研磨を行ったこと以外は、実施例3と同様にして音響共振器を作製した。

【0088】絶縁体層54の SiO_2 膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は36nmであった。また、下部電極61のMo膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は38nmであった。また、ZnO膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は膜厚の0.5%を越える39nmであった。上部電極63の表面について、測定長さ150 μm でうねり高さを測定し、測定長さ100 μm でのうねり高さの最大値を調べたところ、圧電体層62の膜厚の5.0%を越える92nmであった。

【0089】得られた圧電体層62の薄膜XRD分析を行ったところ、膜のc軸は膜面に対して86.5度の角度に成長しており、ロッキングカーブにより配向度を調べた結果、ピークの半値幅は6.7度であった。

【0090】以上のようにして得られた音響共振器の電気機械結合係数 kt^2 は2.9%で、音響的品質係数は390であった。

【0091】【実施例4】上部電極63の形成以外は、実施例2と同様にして音響共振器を作製した。即ち、実施例2と同様にして圧電体層62上に厚さ100nmのMo膜を形成した後に、その外縁から30 μm の幅の領域において、更にリフトオフ法により厚さ20nmのMo膜を形成して、図11に示されているような上部電極63を形成した。

【0092】上部電極63の中央部631の表面について、測定長さ100 μm でうねり高さを調べたところ、圧電体層62の膜厚の5.0%以下の34nmであった。

【0093】以上のようにして得られた音響共振器の電気機械結合係数 kt^2 は7.0%で、音響的品質係数は960であった。

【0094】

【表1】

	FBAR構成											音響共振器としての特性	
	犠牲層 表面粗さ RMS (nm)	絶縁体層		下部電極層		圧電体薄膜				上部電極層		電気機械 結合係数 kt^2 (%)	音響的 品質係数 Q
		材質	表面粗さ RMS (nm)	材質	表面粗さ RMS (nm)	材質	表面粗さ RMS (nm)	c軸方向 (deg)	ロッキングカーブ FWHM (deg)	材質	うねり高さ (nm)		
実施例1	1.0	なし	—	Mo	1.5	ZnO	4.0	89.2	2.1	Mo	34	6.0	770
実施例2	1.0	なし	—	Mo	1.5	AlN	2.4	89.0	2.5	Mo	38	6.9	960
実施例3	0.6	SiO_2	1.5	Mo	1.8	ZnO	4.5	89.2	2.0	Mo	30	5.7	730
実施例4	1.0	なし	—	Mo	1.5	AlN	2.6	89.7	2.5	Mo	40	7.5	1000
比較例1	30	なし	—	Mo	34	ZnO	37	87.0	6.5	Mo	220	3.8	460
比較例2	33	なし	—	Mo	36	AlN	40	86.5	7.0	Mo	280	4.0	500
比較例3	32	SiO_2	36	Mo	38	ZnO	39	86.6	6.7	Mo	185	3.3	420

【0095】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、高さのRMS変動が1.0nm以下という原子レベルで見て平滑な犠牲層表面上に直接または絶縁体層を介して第1の電極を形成し、該第1の電極の表面を高さのRMS変動が2.0nm以下となるようにし、その上に圧電体層を形成するので、第1の電極の結晶性が向上し、これに従って圧電体層の配向性及び結晶品質が著しく改善され、これにより、電気機械結合係数及び音響的品質係数に優れた高性能な薄膜音響共振器が提供される。

【図面の簡単な説明】

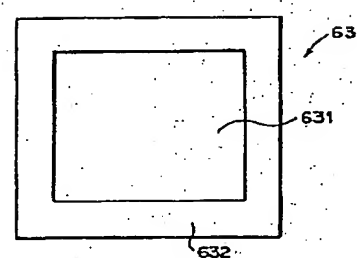
【図1】本発明による薄膜音響共振器であるFBARの基本構成を説明するための模式的断面図である。

【図2】本発明による薄膜音響共振器であるSBARの基本構成を説明するための模式的断面図である。

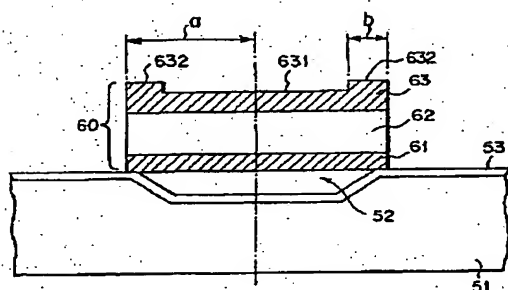
【図3】本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFBARの実施形態を説明するための模式的断面図である。

【図4】本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFBARの実施形態を説明

【圖 1-2】



【圖 1-1】



Fターム(参考) 5J108 BB07 BB08 CC11 CC12 KK01